

УДК 681.513:620.1

Н.И. ЗАПОЛОВСКИЙ, канд. техн. наук, НТУ "ХПИ",
Н.В. МЕЗЕНЦЕВ, НТУ "ХПИ"

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ФУНКЦИЯХ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

Виконаний аналіз різних функцій приналежності нечітких змінних при проектуванні нечіткого контролера швидкості у векторній системі управління електроприводом змінного струму. Наводяться результати моделювання і зроблені висновки відносно найбільш відповідних функцій приналежності для даного випадку.

The analysis of various functions of a fitting fuzzy variable is executed at designing the fuzzy speedcontroller in the vector control system of AC drive. Results of modelling are resulted and conclusions of rather most suitable functions of a fitting to the given case are made.

Постановка проблемы. При векторном способе управления электроприводом переменного тока дизель-поезда возникает необходимость управления процессом разгона с учетом качества протекания электромагнитных процессов и оптимизации энергетических затрат. Одним из критериев качества является величина перерегулирования, которая не должна превышать некоторого максимального значения в переходном режиме. В структуру системы векторного управления входят несколько регуляторов, в частности, ПИ-регулятор скорости, которой не обладает соответствующими качественными характеристиками. В последние 20 – 25 лет в теории автоматического управления появилось направление, связанное с методами нечеткой логики, позволяющими строить цифровые регуляторы, которые обеспечивают предельно высокое быстродействие систем управления. Однако остается открытым вопрос выбора функций принадлежности для нечетких переменных, описывающих функционирование регулятора. Поэтому целесообразно провести сравнительный анализ различных функций принадлежности и их влияние на работу проектируемого регулятора.

Анализ литературы. В [1 – 3] анализируются общие принципы векторного управления электроприводами, в частности, построение систем векторного управления с использованием стандартных П-, ПИ-, ПИД-регуляторов. В работах [4 – 6] рассмотрены методы синтеза систем управления на основе нечеткой логики. Здесь, с одной стороны, нечеткие системы управления используются для объектов управления, модель которых неизвестна, а с другой – как альтернатива классическим системам управления. Показано, что важным достоинством нечетких систем управления является возможность их обучения на примерах. Также приведено ряд возможных архитектур для построения нечетких систем управления.

В работе [7] детально описывается построение нечеткого регулятора для системы векторного управления электроприводом переменного тока. Рассматривается структура системы управления, приводится алгоритм работы нечеткого контроллера скорости, а также результаты моделирования спроектированной системы в пакете MATLAB. Однако здесь недостаточно внимания уделено вопросу выбора функций принадлежности нечетких переменных.

Целью статьи является исследование работоспособности нечеткого контроллера скорости в векторной системе управления электроприводом переменного тока дизель-поезда при различных функциях принадлежности нечетких переменных.

Основной раздел. Обобщенная структура системы векторного управления тяговым двигателем электропривода переменного тока дизель-поезда с использованием нечеткого контроллера по угловой скорости двигателя [3] приведена на рис. 1.

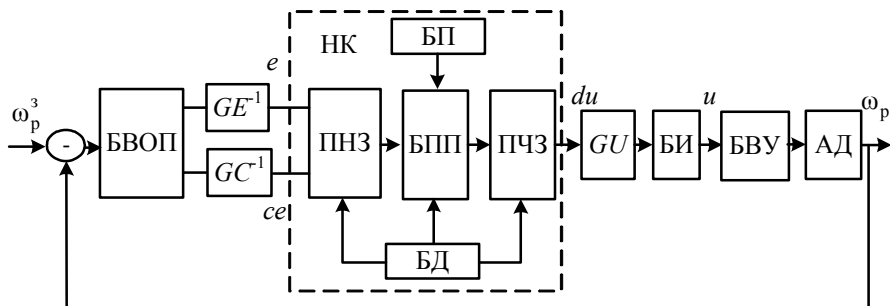


Рис. 1. Структура нечеткого контроллера в системе управления с обратной связью

Здесь: ω_p^3 – сигнал задания скорости вращения ротора тягового асинхронного двигателя; БВОП – блок вычисления ошибки и ее производной; GE^{-1} , GC^{-1} , GU – блоки умножения (деления) на масштабные коэффициенты; НК – нечеткий контроллер; ПНЗ – блок перехода к нечетким значениям; БП – база правил для нечеткого контроллера; БПП – блок применения правил; БД – база данных; ПЧЗ – блок перехода к четким значениям; БИ – блок интегрирования; БВУ – блок векторного управления; АД – асинхронный двигатель. Сигналы ошибки и производной ошибки преобразуются блоками GE^{-1} и GC^{-1} в соответствующие сигналы в относительных единицах e и ce путем деления на масштабные коэффициенты. Аналогично, выходной управляющий сигнал u вычисляется путем умножения выходного сигнала в относительных единицах du на масштабный коэффициент GU , с последующим его интегрированием блоком БИ для получения u .

В качестве нечетких переменных рассматриваются следующие [7]:

E – сигнал ошибки по угловой скорости, которая может принимать значения: $\{Z_1$ – нулевой сигнал ошибки; NS_1 – небольшой отрицательный; NM_1 – средний отрицательный; NB_1 – большой отрицательный; PS_1 – небольшой положительный; PM_1 – средний положительный; PB_1 – большой положительный};

CE – сигнал ошибки по производной угловой скорости; $\{Z_2$ – нулевой сигнал по производной ошибки; NS_2 – небольшой отрицательный; NM_2 – средний отрицательный; NB_2 – большой отрицательный; PS_2 – небольшой положительный; PM_2 – средний положительный; PB_2 – большой положительный};

DU – сигнал нечеткого управления, $\{Z_3$ – нулевой сигнал управления; NVS_3 – очень малый отрицательный; NS_3 – небольшой отрицательный; NM_3 – средний отрицательный; NB_3 – большой отрицательный; PVS_3 – очень малый положительный; PS_3 – небольшой положительный; PM_3 – средний положительный; PB_3 – большой положительный}.

Формирование нечеткого вывода контроллером осуществляется на основании нечетких правил, приведенных в таблице.

Таблица

$\begin{matrix} E \\ CE \end{matrix}$	NB_1	NM_1	NS_1	Z_1	PS_1	PM_1	PB_1
NB_2	NB_3	NB_3	NB_3	NM_3	NS_3	NVS_3	Z_3
NM_2	NB_3	NB_3	NM_3	NS_3	NVS_3	Z_3	PVS_3
NS_2	NB_3	NM_3	NS_3	NVS_3	Z_3	PVS_3	PS_3
Z_2	NM_3	NS_3	NVS_3	Z_3	PVS_3	PS_3	PM_3
PS_2	NS_3	NVS_3	Z_3	PVS_3	PS_3	PM_3	PB_3
PM_2	NVS_3	Z_3	PVS_3	PS_3	PM_3	PB_3	PB_3
PB_2	Z_3	PVS_3	PS_3	PM_3	PB_3	PB_3	PB_3

Правила формируются следующим образом:

1. Если $E = NB_1$ и $CE = NB_2$, то $DU = NB_3$,

2. Если $E = NM_1$ и $CE = NB_2$, то $DU = NB_3$ и т.д.

Областью определения всех нечетких переменных является интервал $[-1, 1]$ относительных значений соответственно сигналов ошибки по угловой скорости, по производной угловой скорости и по сигналу управления. В качестве функций принадлежности нечетких лингвистических переменных E , CE , DU рассматривались функции, приведенные на рис. 2.

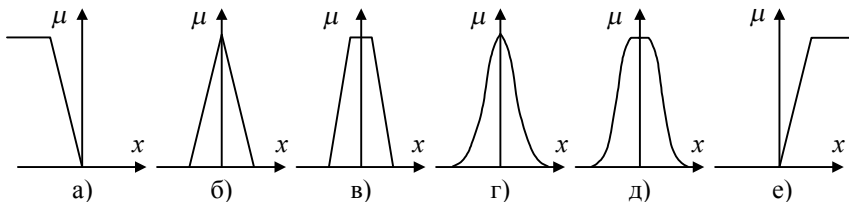


Рис. 2. Виды функций принадлежности

Эксперименты проводились для различных вариантов задания функций принадлежности как входных, так и выходной нечетких переменных. Сначала выбирались однотипные функции принадлежности (для входа и выхода). При этом получилось, что если функции принадлежности имели вид а – в и е, то нечеткий контроллер функционировал практически одинаково, только если использовались функции вида в (трапецидальные), получили некоторое перерегулирование по сравнению с функциями вида б.

На рис. 3 приведены результаты для случая использования функций вида б и в.

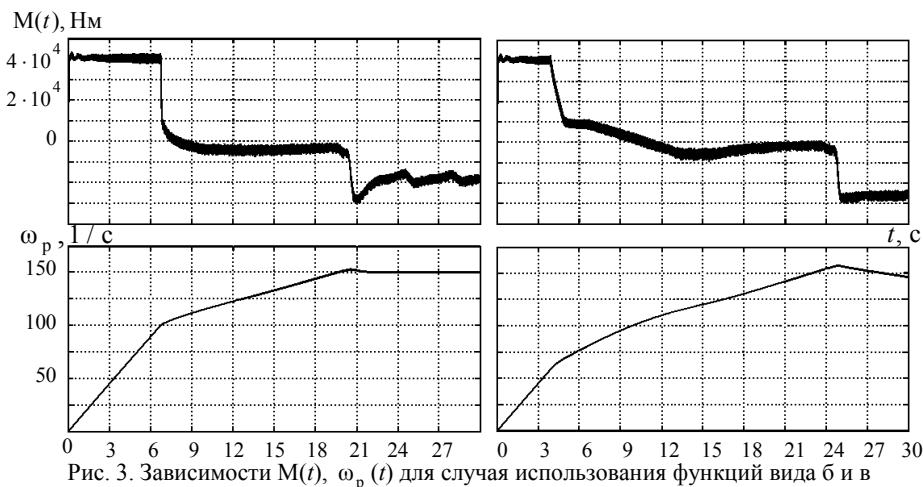


Рис. 3. Зависимости $M(t)$, $\omega_p(t)$ для случая использования функций вида б и в

При использовании функций принадлежности вида г и д регулятор не выполнял свою основную функцию (рис. 4).

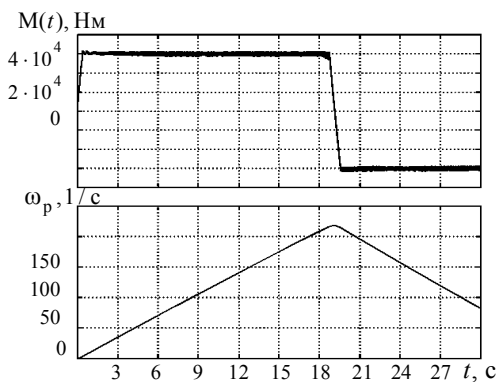


Рис. 4. Зависимости $M(t)$, $\omega_p(t)$ для случая использования функций вида г и д

Для случая комбинированного способа задания функций принадлежности: для входных переменных выбрали один тип функций принадлежности, а для

выходной – другой. При этом выяснилось, что форма функций принадлежности для выходной величины (сигнала нечеткого управления DU) является не определяющей, т.е. за качество работы регулятора отвечает выбор вида функций принадлежности для входных нечетких переменных (сигнала ошибки по угловой скорости и сигнала ошибки по производной угловой скорости). На рис. 5 приведены зависимости при использовании для входа функций принадлежности треугольной формы (вида в), а для выхода – вида г.

Из анализа рис. 5 и рис. 3.1 можно увидеть, что использование на выходе функций принадлежности вида г позволяет несколько сгладить форму кривой момента, хотя график скорости практически остался без изменений.

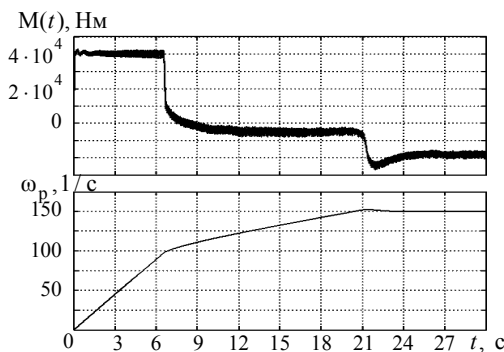


Рис. 5. Зависимости $M(t)$, $\omega_p(t)$ для случая использования для входа функций вида в), для выхода вида г

Выводы. Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что использование функций принадлежности вида г и д как для входных, так и для выходной нечеткой переменной (одновременно) не позволяет построить работоспособный регулятор. Определяющим является выбор функций принадлежности для входных нечетких переменных. Для входных нечетких переменных предпочтительнее выбирать функции принадлежности вида б или в, для выходной – г или д.

Список литературы: 1. Усольцев А.А. Векторное управление асинхронными двигателями. Учебное пособие по дисциплинам электромеханического цикла. – СПб. 2002. – 39 с. 2. Рудаков В.В., Столяров И.М., Дартау В.А. Асинхронные электроприводы с векторным управлением. – Л.: Энергоатомиздат, 1987. – 136 с. 3. Bimal K. Bose Modern Power Electronics and AC Drives. – Prentice-Hall PTR, 2002. – 738 с. 4. Борисов В.В., Круглов В.В., Федулов В.В. Нечеткие модели и сети. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 284 с. 5. Ярушкина Н.Г. Основы теории нечетких и гибридных систем: Учебное пособие. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 320 с. 6. Васильев В.И., Ильясов Б.Г. Интеллектуальные системы управления с использованием нечеткой логики: Учебное пособие. – Уфа: УГАТУ, 1997. – 220 с. 7. Заполовский Н.И., Носков В.И., Мезенцев Н.В., Горбач Н.В. Разработка и исследование системы управления электроприводом переменного тока с использованием методов нечеткой логики // Вестник НТУ "ХПИ". Тематический выпуск: Информатики и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2006. – № 23. – С. 53 – 60.

Поступила в редакцию 18.04.2007